

# Poskusi s svetlobo – 1. del



ANDREJ LIKAR IN NADA RAZPET

→ Ob mednarodnem letu svetlobe (2015) smo na strokovnem srečanju DMFA Slovenije, ki je potekalo na Fakulteti za matematiko in fiziko v Ljubljani, postavili ne povsem standardne šolske poskuse, ki so vezani na svetlobo. Za izvajanje nekaterih od njih ni težko najti optičnih pripomočkov, kot so leča, ravno zrcalo, kozmetično zrcalo, potrebno pa je nekaj pridnosti in spretnosti, da poskuse tudi postavimo.

Pri vsakem poskusu smo navedli potrebne pripomočke, jih fotografirali, zapisali, kako poskus izvedemo, in dodali še kratko razlago ter navedli, kje v literaturi lahko o fizikalnem ozadju poskusov izvemo kaj več.

Poskusi so razdeljeni v več skupin:

- Prostorske slike
- Preslikave z ravnimi zrcali
- Ukrivljena zrcala
- Sestavi ukrivljenih zrcal
- Preslikave z lečo
- Poskusi z laserskim kazalnikom
- Valovna optika
- Polarizacija svetlobe in optična aktivnost
- Ukrivljeno zrcalo s folijo.

Upamo, da bo ta spomin na leto svetlobe koga od bralcev Preseka vzpodbudil, da se bo kakega poskusa lotil sam.

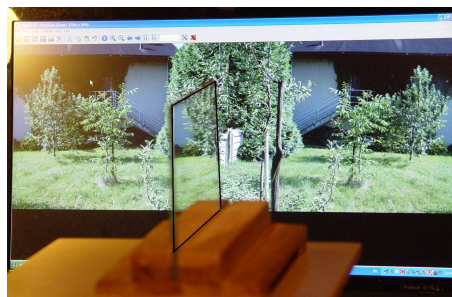
## Prostorske slike

Opazovanje slik, ki pričarajo globino, je znano že zelo dolgo časa. Danes si lahko ogledamo filme z iluzijo prostora. Predmete v naravi gledamo z obema očesoma. Ker se sliki na mrežnicah levega in desnega očesa nekoliko razlikujeta, lahko možgani pridelajo vtis globine. Za vtis globine pri opazovanju slik potrebujemo ločeni sliki za vsako oko, ki sta usklajeni

kot pri opazovanju predmeta v naravi. Tudi tu možgani zlijejo obe sliki v prostorsko sliko.

Kako naj torej postavimo poskus? Lahko narišemo eno sliko tako, kot bi jo videlo levo oko, drugo pa tako, kot bi jo videlo desno. Namesto risanja lahko naredimo dve fotografiji, eno za levo in eno za desno oko. Ob gledanju moramo omogočiti, da vsako oko gleda svojo sliko. To lahko naredimo na več načinov. Uporabimo lahko ravno zrcalo, stereoskop, se potrudimo in zlijemo sliki z bolščanjem ali uporabimo anaglifne slike.

## Uporaba ravnega zrcala



SLIKA 1.

Sliki na računalniškem zaslonu in postavitev zrcala

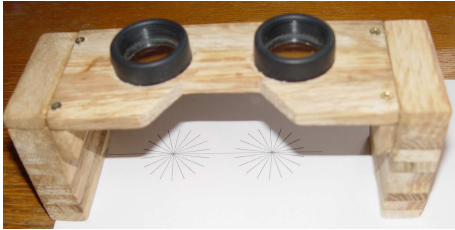
**Pripomočki:** podstavek, zrcalo (ali prizma), sliki.

**Navodilo.** Fotografijo, ki smo jo naredili za desno oko, zrcalno obrnemo okrog navpične zrcalne ravnine. Obe sliki potem postavimo na računalniški zaslon eno poleg druge (slika 1). Zrcaljenje in postavitev omogočajo številni grafični programi, mi smo uporabili IrfanView. Zrcalo naj bo med obema očesoma. Postavimo ga tako, da z levim očesom gledamo levo sliko, z desnim pa v zrcalu ponovno obrnjeno desno sliko. Zrcalo počasi vrtimo, da se sliki zlijeta v eno. Ko se zlijeta, smo slepi za ozadje. Namesto zrcala lahko uporabimo prizmo.

## Stereoskop

S stereoskopom gledamo ustrezni sliki udobno skozi leči, pri čemer se na gledanje ni potrebno posebej privajati. Leči na doma izdelanem stereoskopu sta bili odviti iz zavrženega manjšega daljnogleda. Razmik med lečama in oddaljenost od slike morata biti taki, da z vsakim očesom gledamo svojo sliko, ki se zlije v eno.

**Navodilo.** Izdelajte stereoskop in ustrezne slike ter opazujte prostorske slike. Preberite članek v Preseku, ki podrobno opisuje izdelavo stereoskopa in ustreznih slik.



SLIKA 2.

Stereoskop domače izdelave

**Pripomočki:** stereoskop, slike.

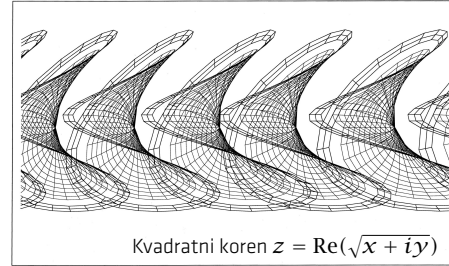
## Stereogrami

Potem so tu še stereogrami. Ko gledamo stereogram z obema očesoma, ne smemo gledati hkrati iste točke. Stereograme gledamo tako, kot se zazremo v daljavo, nekako boljčimo vanje. Zanimive stereogramе najdete v publikaciji Boruta Jurčiča Zlobca, *Stereogrami*, pa tudi na spletu.

**Navodilo.** Navodila za gledanje stereogramov so različna. Pred obe očesi postavite kazalec ene roke. Zazrite se v oddaljen predmet. Ko boste namesto enega videli dva kazalca, pogledajte na sliko.

## Anaglifne slike

Prostorske slike lahko ustvarimo z računalniškimi programi. To so tako imenovane anaglifne slike. Programi tvorijo sliki za levo in desno oko, ki sta različno obarvani. Sliki sta prekriti, rdeče obarvane črte so namenjene gledanju z desnim, modro obarvane



SLIKA 3.

Stereogram iz knjige *Stereogrami* Boruta Jurčiča Zlobca

pa z levim očesom. Za gledanje slik zato potrebujemo očala z rdečim in modrim filtrom. Primera anaglifnih slik smo narisali s programom GeoGebra.

**Pripomočki:** računalnik, modro-rdeča očala.

**Navodilo.** Nataknite očala in pogledjte sliko. Enkrat imejte rdeče obarvan del očal na levem, drugič pa na desnem očesu. Kaj opazite?

## Literatura

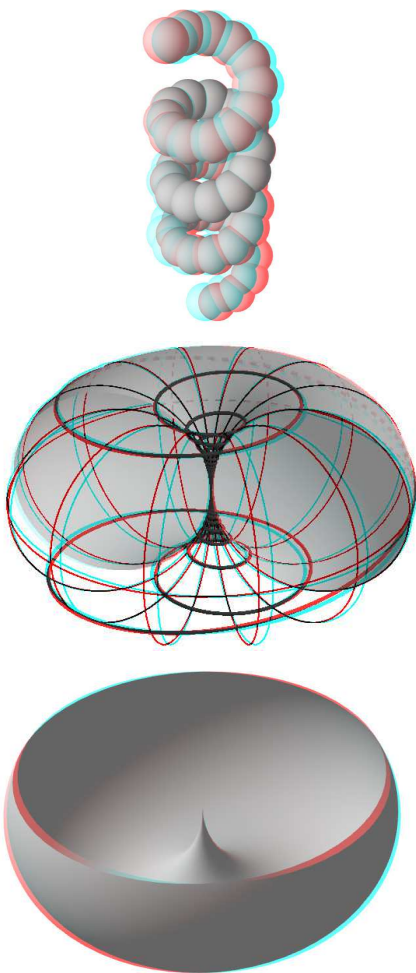
- [1] A. Likar, *Pričarajmo prostorsko sliko*, Obzor. mat. fiz. **62**, 6, 2015, 218-222.
- [2] B. Jurčič Zlobec, *O streogramih*, Logika & Razvedrilna matematika, 1994-1995, 3, 5-8.
- [3] B. Jurčič Zlobec, *Stereogrami*, Math 1994.
- [4] M. Vencelj, *Stereoskopske slike, narejene s programom perspectus*, Presek, **21**, 1993/94, 5, 319-320.
- [5] T. Baccei, *Magično oko*, Založba Obzorje, Maribor, 1994.

## Ravna zrcala

## Kalejdoskop

Kalejdoskop simetrično preslika povsem naključno porazdelitev barvnih steklenih drobcev. Simetrična slika nas navduši. Da lahko večkratne slike v cevasto postavljenih zrcalih udobno opazujemo, morajo biti drobci blizu cevi.



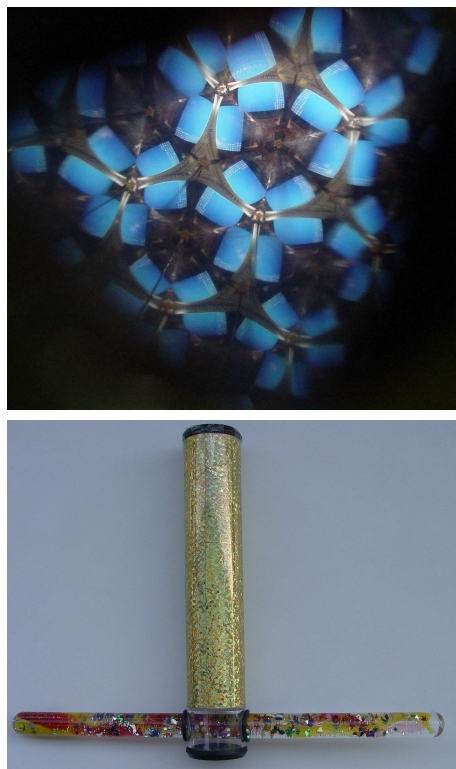


**SLIKA 4.**

Anaglifne slike

**Pripomočki:** trije enako veliki ravni zrcalni trakovi, tulec, paus papir, kos črnega kartona, lepilni trak, škarje, prozorna škatlica z majhnimi predmeti.

**Navodilo.** Tri ravne zrcalne trakove zalepimo tako, da tvorijo plašč tristrane prizme (slika 6). Zrcalne površine naj gledajo druga drugo. V prozorno škatlico damo koščke obarvanega stekla ali prosojne barvne plastike. Iz črnega kartona izrežemo krog z luknjo za gledanje. Namesto prozorne škatlice lahko odrežemo približno 5 mm visok valj. Na enem koncu ga zapremo s paus papirjem, vanj nasujemo nekaj koščkov obarvanega stekla ali plastike in nato drugo



**SLIKA 5.**

Pogled skozi kaledoskop (zgoraj). Industrijski kaledoskop (spodaj).

ploskev zapremo s prozorno folijo za živila. Namesto zrcal lahko uporabimo zrcalno tapeto.

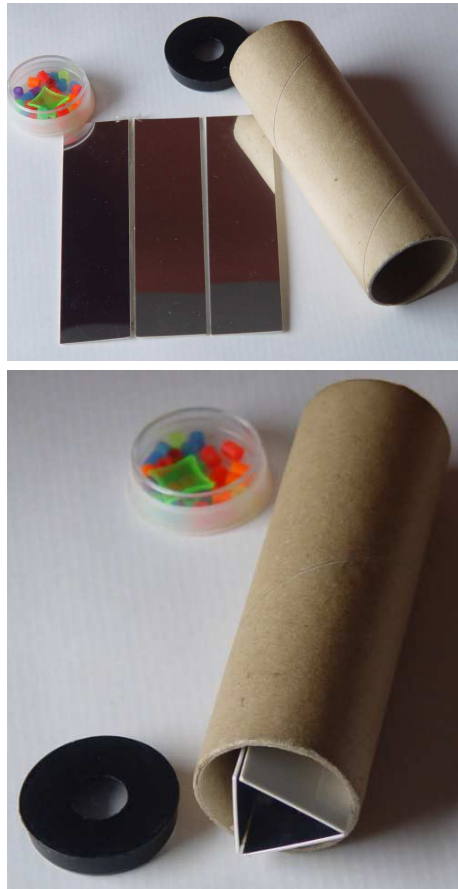
Na tržišču lahko najdemo tudi kaledoskope, ki imajo na eni strani gibljivo krožno ploščo (z večjim premerom, kot je premer valja) z luknjami, ki so prekrite z barvnim steklom. Krog vrtimo okrog osi, ki je na plašču valja. Najdemo tudi take, kjer tvori sliko debela okrogla leča na enem koncu kaledoskopa. Pri njem ne potrebujemo steklenih drobcev, sliko spreminjamo z lego kaledoskopa.

Poglejte še skozi industrijsko izdelan kaledoskop. Palica z barvnimi delci naj bo nagnjena tako, da bodo delci v tekočini padali.

### Blizu postavljena vzporedna zrcala

**Pripomočki:** mikrometrski vijak.

**Navodilo.** Spreminjajte razdaljo med zrcalnima koncema mikrometrskega vijaka in glejte skozi špra-

**SLIKA 6.**

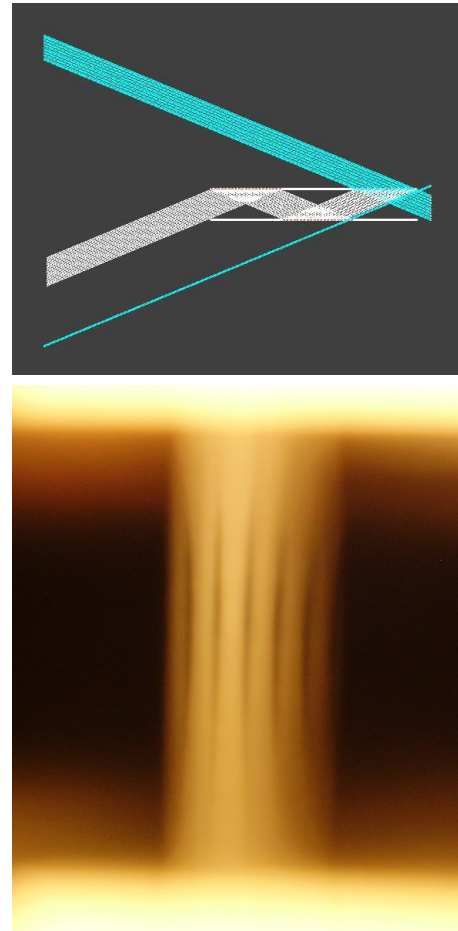
Sestavni deli kalejdskopa (zgoraj). Izdelava kalejdskopa (spodaj).

njo. Zakaj se pojavljajo svetle in temne proge, ko gledamo v belo svetilo? Če bi šlo za interferenčne proge, bi bile le-te obarvane.

### Ravna zrcala pod kotom

Slike v večih ravnih zrcalnih istega predmeta lahko zlijemo v zanimive kompozicije

**Navodilo.** Postavite dva predmeta tako, kot kažeta sliki. Glejte v smeri stika med zrcaloma. Počasi spreminjajte kot med zrcaloma. Kaj opazite? Koliko slik vidite? Ali so vse slike zrcalno simetrične? Kaj pa, če premaknete glavo in ne gledate v smeri stika med zrcaloma?

**SLIKA 7.**

Vzporedni žarki iz oddaljenega zaslona se na dveh blizu postavljenih ravnih zrcal večkrat odbijejo (zgoraj). Pogled skozi režo, ki jo tvorita zelo blizu postavljeni vzporedni zrcalni ploskvi mikrometra (spodaj).

### Tri med seboj pravokotno postavljena zrcala

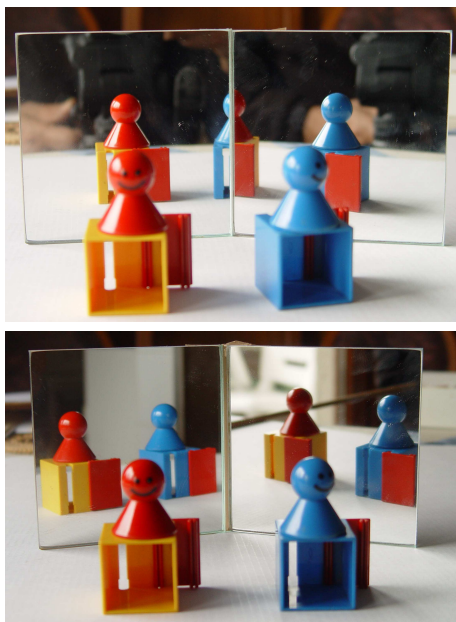
Slike, ki jih opazujemo v treh, medsebojno pravokotnih zrcalnih, so nenavadne in nudijo obilo sveže snovi za zagrete učence. Na trgu najdemo celo igračo, ki ni nič drugega, kot so ta zrcala.

**Pripomočki:** tri enaka ravna zrcala, ki jih zlepimo pod pravim kotom, da tvorijo koordinatne ravnine.

**Navodilo.** Poglejte se v zrcala. Kaj opazite? Zrcala dvignite s podlage oziroma jih bolj ali manj nagnite







**SLIKA 8.**

Tri oziroma štiri slike dveh predmetov



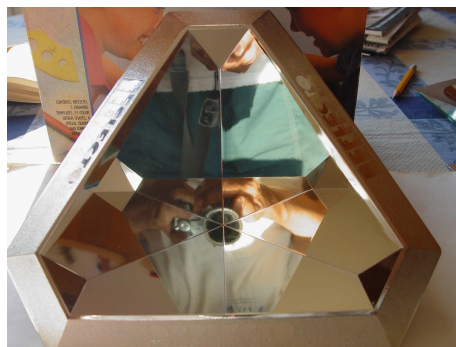
**SLIKA 9.**

Koliko je ura?

proti sebi. Kaj opazite? Zrcala počasi sukajte okoli osi, ki gre skozi skupno oglišče zrcal. Kaj opazite?

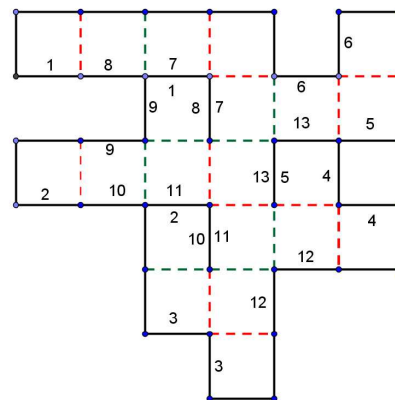
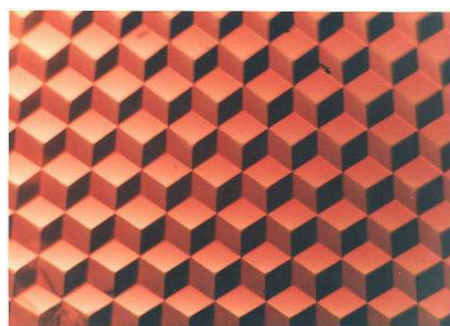
**Odsevník**

**Pripomočki:** skica za izdelavo odsevníka (slika 11 spodaj), alu folija ali zrcalna tapeta, karirast papir, lepilo, škarje, kresnička.



**SLIKA 10.**

Tri med seboj pravokotna zrcala



**SLIKA 11.**

Odsevník (zgoraj). Shema za izdelavo odsevníka (spodaj).

**Navodilo.** Po črnih črtah zarezemo s škarjami. Rdeče črte pomenijo *pregib na hrib*, zelene pa *pregib na dolino*. Na odsevník posvetimo s svetilko iz različ-

nih smeri. Izdelajte še odsevnik, ki so predlagani v dodatni literaturi.

## Literatura

- [1] B. Rovšek, *Odsevnik – kako deluje in kako ga naredimo*, Naravoslovna solnica, **13**, 2, 2009.
- [2] N. Razpet, *Dve ravni zrcali*, še neobjavljeno.
- [3] J. L. P. Ribeiro, *Are You Ready, Kids? It's SpongeBob Triclops!*, *The Physics Teacher* **53**, 2015, 298–299.
- [4] A. Likar, *Skrivljena zrcala*, *Presek*, **26**, 1998/99, 2, 66–70.

## Ukrivljena zrcala

Pri ukrivljenih zrcalih si pomagamo s prozornimi folijami, odbojnimi izolacijskimi plastičnimi folijami, ki jih najdemo v avtomobilskem paketu prve pomoči, kromiranimi zajemalkami in igračkami. Parabolična zrcala, narejena za optične poskuse, pa so za šolsko rabo mnogo predraga.

### Preslikave s plastično folijo

**Pripomočki:** prozorna plastična folija, črn karton, majhen predmet.

**Navodilo.** Prozorno folijo pritrdite na črn karton in tako narejeno zrcalo postavite navpično. Pred zrcalo postavite predmet. Zrcalo z obeh strani počasi ukrivljajte proti sebi. Ob koncu poskusa naj ima zrcalo obliko plašča valja (konkavno cilindrično zrcalo). Opazujte, kaj se dogaja s slikami. Poskus ponovite še s kosom zrcalne tapete. Poskusite slike še konstruirati.

### Realna slika s cilindričnim zrcalom

**Pripomočki:** valjasta posoda, kos zrcalne tapete, predmet.

**Navodilo.** Zrcalno tapeto položite v valjasto posodo, kot kaže slika 13. V posodo postavite predmet (spreminjajte višino predmeta), pojavi se »viseča« slika predmeta.



**SLIKA 12.**

Gibko zrcalo s plastično folijo (zgoraj). Slika v konkavnem cilindričnem zrcalu (spodaj).

### Igranje s cilindričnim zrcalom

**Pripomočki:** okrogla plošča, kos zrcalne tapete, predmet za preslikavo.

**Navodilo.** Kos zrcalne tapete počasi upogibajte tako, da bo imela na koncu obliko dela plašča valja (konkavno cilindrično zrcalo). Opazujte sliko predmeta. Mi smo za poskuse uporabili okroglo kuhinjsko desko.

Najprej je slika zrcalna (ko tapeta ni upognjena), potem se slika razteguje, nato vidimo pri straneh še





**SLIKA 13.**

»Viseča« slika predmeta v cilindričnem zrcalu

delne slike, ko pa ima zrcalo obliko plašča valja, pa slika ni več zrcalna.

Nato zrcalo počasi vrtite okrog vodoravne osi, kot kažejo slike 15. Opazujte, kako se spreminja položaj slike. Z zrcalom preslikajte še svoj obraz.

**Komentar.** Kot med desko in podlago označimo z  $\alpha$ . Ko je kot  $\alpha = 45^\circ$ , je slika postavljena navpično, ko pa je kot  $\alpha = 180^\circ$ , pa je slika obrnjena. Slika se torej zasuka za  $2\alpha$ .

Oblikujte še konveksno cilindrično zrcalo in ponovite poskuse, ki ste jih opravili s konkavnim cilindričnim zrcalom. Opišite razlike. (Več o konkavnem cilindričnem zrcalu bo objavljeno v enem od naslednjih Presekov.)

### »Mirage«

Na tržišču lahko najdemo posebno optično igrāčo, sestavljeno iz dveh konkavnih zrcal, od katerih ima ena odprtino. Predmet postavimo na *dno* konkavnega zrcala in ga pokrijemo s prav takim zrcalom z odprtino. Nad odprtino opazimo »plavajoč« predmet.

### Doma narejen »Mirage«

Tudi sami lahko izdelamo napravo, s katero gledamo lebdeče slike. Eno od njih smo izdelali z zajemalko in ravnim zrcalom s prozorno odprtino.

**Pripomočki:** zajemalka, podstavek z valjem, elastika, kroglica kot predmet.



**SLIKA 14.**

Počasi ukrivljamo zrcalno tapeto in opazujemo sliko avtomobilčka.





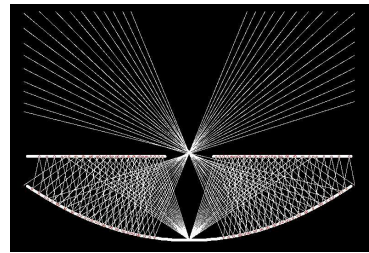
**SLIKA 15.**

Cilindrično zrcalo vrtimo okrog vodoravne osi.



**SLIKA 16.**

Miraževa slika kovanca



**SLIKA 17.**

Mirage z zajemalko, ki ga lahko izdelamo sami (zgoraj). Potek žarkov od predmeta na dnu proti prozorni odprtini (spodaj).

**Navodilo.** Premikajte kroglico in opazujte njeno realno sliko. Kam moramo postaviti predmet, da lahko opazujemo sliko?

### Školjčna postavitvev dveh konkavnih krogelnih zrcal

Pri uporabi kopalniških konkavnih zrcal si pomagamo s *školjčno* postavitvijo, kjer prav tako opazujemo lebdečo sliko primerno postavljenega predmeta.

18

nadaljevanje  
na strani



15









15

nadaljevanje  
s strani



**SLIKA 18.**

70-stopinjski razpor dveh konkavnih krogelnih zrcal

**Pripomočki:** konkavni zrcali v okvirju, stojalo, prižeme, predmet.

**Navodilo.** Postavite predmet tako, da boste videli realno sliko. Kje je lahko predmet in kje je realna slika predmeta? Spreminjajte kot med zrcaloma. Kako to vpliva na lase slike?

Konstruirajte sliko pri školjčni postavitvi z enim od programov za dinamično geometrijo.

**Literatura**

- [1] A. Likar, *Odboj svetlobe in zrcala*, Presek, 42, 5, 2014/2015, 13-15.
- [2] A. Likar, N. Razpet, *Večkratni odboji svetlobe na konkavnih zrcalih*, Presek, 43, 6, 2015/2016.
- [3] A. Sieradzan, *Teaching geometrical optics with the »optic mirage«*, Phys. Teach. 43, 2005, 254-256.

× × ×

# Barvni sudoku



→ V  $8 \times 8$  kvadratkov moraš vpisati začetna naravna števila od 1 do 8 tako, da bo v vsaki vrstici, v vsakem stolpcu in v kvadratih iste barve (pravokotnikih  $2 \times 4$ ) nastopalo vseh osem števil.

	3	1				5	2
7	5						
	7				3		6
				8			5
					8		
		3		7		4	
8		5			6		
6			1				

REŠITEV BARVNI SUDOKU



4	8	5	3	1	7	2	6
7	1	9	2	3	5	4	8
1	4	2	7	6	3	8	5
3	6	8	5	7	4	1	2
5	7	1	8	4	2	9	3
6	2	3	4	5	8	7	1
8	3	4	1	2	6	5	7
2	5	7	6	8	1	3	4

× × ×